

PEMUPUKAN P BERBASIS MIKROBA PELARUT P DI LAHAN SULFAT MASAM UNTUK TANAMAN PADI

Arthanur Rifqi Hidayat dan Yuli Lestari

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa,

Jl. Kebun Karet, Loktabat, Banjarbaru 70700

Email: arthanurrifqihidayat@gmail.com

RINGKASAN

Pemanfaatan lahan sulfat masam merupakan salah satu alternatif untuk menjaga ketahanan pangan terutama padi. Budi daya padi di lahan sulfat masam dihadapkan pada masalah kemasaman tanah yang tinggi (pH rendah), keracunan Fe dan Al serta rendahnya ketersediaan unsur hara makro. Salah satu unsur hara makro yang rendah ketersediaannya sehingga menyebabkan defisiensi adalah fosfor. Pada pH rendah, fosfor terfiksasi oleh Fe dan Al menjadi Fe-P dan Al-P. Oleh karena itu, pemupukan P untuk memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan produksi padi efisiensinya rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P pada tanaman padi di tanah sulfat masam adalah dengan memanfaatkan mikroba pelarut fosfat. Aplikasi mikroba pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil karena kemampuannya meningkatkan ketersediaan hara P dan pH tanah, menghasilkan fitohormon dan menurunkan toksisitas Fe dan Al.

I. PENDAHULUAN

Produksi pangan nasional sangat tergantung pada sumber daya lahan yang tersedia dan terutama cocok untuk tanaman padi, karena makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia adalah beras. Di samping itu, beberapa daerah yang semula bahan makanan pokoknya non beras, ada kecenderungan beralih ke beras sehingga kebutuhan secara nasional semakin meningkat (Noor *et al.* 2017). Secara ekstensifikasi, peningkatan produksi padi dapat diarahkan dengan memanfaatkan lahan rawa pasang surut sulfat masam. Luas lahan sulfat masam di Indonesia diperkirakan 6,71 juta hektar, yang tersebar di empat pulau besar, yaitu Sumatera (1.806.000 ha), Kalimantan (3.452.100 ha), Papua (2.932.690 ha), dan

Sulawesi (1.039.450 ha) (Mulyani et al. 2012). Hasil padi di lahan pasang surut terdegradasi yang diberi pupuk lengkap ($90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N} + 45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 + 150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) dan 1 ton dolomit ha^{-1} berkisar antara 1,6-3,6 t ha^{-1} (Ar-Riza et al. 2015).

Pemanfaatan lahan sulfat masam untuk tanaman padi menghadapi kendala seperti rendahnya pH tanah (<3.5), keracunan aluminium (Shamshuddin et al. 2004), rendahnya basa-basa dapat dipertukarkan seperti K-dd, Na-dd, Ca-dd (Nadjib & Haerani 2008) keracunan ion besi fero (Suswanto et al. 2007) dan kahat hara P (Purnomo et al. 2005; Hayati, 2013). Unsur P, sering kali menjadi faktor pembatas pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi di tanah sulfat masam karena tidak tersedia bagi pertumbuhan dan rendahnya serapan tanaman.

Fosfor (P) merupakan hara penting ke-2 setelah nitrogen yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Di dalam tanaman unsur P berperan penting dalam proses metabolis termasuk fotosintesis, transfer energi, *signal transduction*, biosintesis makromolekuler dan respirasi (Khan et al. 2010). Pasokan P yang cukup selama awal perkembangan tanaman penting untuk meletakkan primordia yang merupakan bagian reproduksi tanaman. Selain itu, P juga penting dalam meningkatkan percabangan akar, resistensi terhadap penyakit, mempercepat pemasakan dan pengisian biji pada tanaman biji-bijian dan kacang-kacangan. Rendahnya ketersediaan atau defisiensi fosfor dapat menurunkan ukuran dan pertumbuhan tanaman (Sharma et al. 2013).

Tanaman menyerap fosfor dari larutan tanah sebagai anion fosfat, yaitu H_2PO_4^- atau HPO_4^{2-} . Anion H_2PO_4^- adalah bentuk fosfat anorganik terlarut yang biasa tersedia pada pH rendah. Namun sejalan dengan meningkatnya pH bentuk fosfat anorganik trivalent atau divalent yang tersedia (HPO_4^{2-} atau HPO_4^{3-}). Di dalam tanah unsur ini terpresipitasi sebagai ortofosfat atau teradsorpsi oleh Fe atau Al oksida (Kumar 2009). Selain mempresipitasi fosfat, Fe dan Al di tanah sulfat masam juga dapat menurunkan serapan P oleh padi karena menghambat pembelahan, pemanjangan sel akar atau keduanya (Panhwar et al. 2016).

Untuk mendapatkan hasil yang optimum sesuai dengan potensinya diperlukan pasokan P yang cukup baik dari dalam tanah maupun penambahan (pemupukan) (Grant et al. 2005). Namun demikian, efisiensi pemupukan P tergolong rendah, karena sekitar 75-90% pupuk yang diaplikasikan terpresipitasi oleh berbagai unsur yang ada di dalam tanah

(Zaidi *et al.* 2009). Salah satu cara mengatasi permasalahan ini adalah aplikasi mikroba pelarut P. Mikroorganisme pelarut P melalui berbagai mekanisme pelarutan dan mineralisasi mampu mengubah P anorganik dan organik tanah menjadi bentuk tersedia memfasilitasi serapan akar tanaman (Sharma *et al.* 2006). Penggunaan mikroba pelarut P sebagai pupuk hayati mempunyai banyak keuntungan, di antaranya hemat energi, tidak mencemari lingkungan, mampu membantu meningkatkan kelarutan P yang terjerap, menghalangi terjerapnya P pupuk oleh unsur penjerap dan mengurangi toksisitas Al^{3+} , Fe^{3+} , dan Mn^{2+} terhadap tanaman pada tanah masam (Efiati 2005 dalam Dewanti *et al.* 2017). Mekanisme yang terlibat pada proses ini adalah terjadinya pengkelatan Al bebas oleh asam organik yang diproduksi oleh bakteri. Bakteri ini juga meningkatkan pH tanah karena produksi polisakarida sehingga mengakibatkan Al terpresipitasi (Panwar *et al.* 2015).

II. STATUS HARA PADI LAHAN SULFAT MASAM

Total fosfor di permukaan tanah bervariasi dari 0,005–0,15% dan menurun dengan meningkatnya intensitas pelapukan. Secara garis besar, fosfor di dalam tanah dikelompokkan menjadi organik dan anorganik. Senyawa P-organik di dalam tanah, umumnya merupakan ester dari ortofosfat ($H_2PO_4^-$) seperti inositol fosfat, fosfolipid dan asam nukleat. Sementara itu, bentuk P-anorganik di dalam tanah adalah apatit (sumber asli dari fosfor), fosfor yang membentuk kompleks dengan Fe atau Al dan yang dijerap oleh partikel liat (Havlin *et al.* 2012).

Secara umum, P yang ada di dalam larutan tanah berasal dari pelapukan mineral primer, mineral sekunder, desorpsi P yang terjerap liat atau permukaan mineral yang lain, mineralisasi biomassa mikroba dan bahan organik, pupuk yang diaplikasikan, dan aliran air.

Dinamika P di dalam tanah dicirikan oleh proses keseimbangan mineral (dissolutio-presipitasi), fisikokimia (sorpsi-desorpsi), biologi (imobilisasi-mineralisasi). P-total di tanah sulfat masam berkisar dari sedang sampai tinggi. P-total di tanah sulfat masam Barambai, Kabupaten Batola dan Lamunti, Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah masing-masing adalah 128,28 $mg \cdot 100 g^{-1}$ (Supriyo *et al.* 2010) dan 40,84 $mg \cdot 100g^{-1}$ (Indrayati dan Umar 2011) tergolong sedang dan KP Belandean tergolong tinggi 0,26–0,56% (Fahmi *et al.* 2009).

Desa Karangbunga (Kalimantan Selatan) dan Desa Sidomulyo (Kalimantan Timur) masing-masing adalah 6,7 ppm dan 5,7 ppm dan tergolong sangat rendah (Mukhlis 2012). Hasil penelitian Masganti *et al.* (2017), menunjukkan bahwa kadar P di tanah sulfat masam tipe luapan B di Desa Sungai solok, Kecamatan Kuala Lumpur, Kabupaten Palalawan, Riau, yaitu 7,8 ppm dan tergolong rendah. Kadar P tanah sulfat masam tergolong sedang dijumpai oleh Fahmi *et al.* (2009), yaitu di tanah sulfat masam tipe luapan B, KP. Belandean, Desa Mandastana, Kecamatan Alalak Kabupaten Barito Kuala Kalimantan Selatan adalah 14-17,3 ppm.

III. PEMUPUKAN PADI LAHAN SULFAT MASAM UNTUK TANAMAN PADI

Fosfor merupakan unsur utama sebagai penyusun adenosin trifosfat, nukleotida, asam nukleat dan fosfolipid yang berfungsi sebagai transfer energi, energi simpanan dan memelihara integritas membran. P bersifat mobil di dalam tanaman, dan memacu pembentukan anakan, perkembangan akar, awal pembungaan dan pemasakan. Hal ini terutama penting pada awal pertumbuhan. Selain itu pupuk mineral P diperlukan ketika sistem perakaran tanaman padi belum berkembang penuh dan P di tanah konsentrasinya rendah (Dobermaan and Fairhurst 2000).

Menurut Masganti dan Fauziati (1995), bahwa tanah sulfat masam aktual dan tanah sulfat masam bergambut pemupukan P memerlukan dosis $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, sedangkan tanah sulfat masam potensial hanya $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. Pada tanah sulfat masam, fosfat yang bersumber dari batuan alam lebih nyata meningkatkan hasil padi dibandingkan dengan TSP. Pemupukan $135 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ residunya dapat dimanfaatkan tanaman hingga pertanaman ketiga. Pemupukan $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ hanya memberikan efek residu pada pertanaman kedua. Sedangkan pemberian $45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ tidak memberikan efek residu.

Masganti *et al.* (2017), mengemukakan bahwa pada pemberian kompos jerami padi sebanyak $1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, maka hasil gabah yang diberi pupuk P sebanyak $60 \text{ kg} \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ nyata lebih tinggi dibandingkan $30 \text{ kg} \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, $90 \text{ kg} \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ dan $120 \text{ kg} \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$. Hal yang sama juga diperoleh pada pemberian kompos jerami padi 2 dan 3 $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk P lebih dari $60 \text{ kg} \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, produksi padi menurun. Menurut Khairullah dan Noor (2018), bahwa pemupukan P dengan takaran yang tinggi tidak efisien, karena dapat menurunkan ketersediaan unsur hara lain yang antagonis dengan P. Hasil tertinggi produksi padi di lahan

pasang surut Desa Sungai Solok, Kecamatan Kampar, Kabupaten Palalawan, Riau adalah 5,73 t.ha⁻¹ yang diperoleh pada kombinasi pemberian jerami padi 2 t.ha dan 60 kg P₂O₅.ha⁻¹ yang tidak berbeda nyata dengan kombinasi pemberian jerami padi 3 t.ha dan 60 kg P₂O₅.ha⁻¹.

Tabel 18. Produktivitas padi di tanah sulfat masam akibat perbedaan pemberian kompos jerami dan pupuk p.

Dosis Bahan Organik t.ha ⁻¹	Dosis Pupuk P (kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹)				Rata-rata
	30	60	90	120	
1,0	4,50 a	5,27 cd	4,70 ab	4,62 ab	4,77 x
2,0	4,80 ab	5,73 e	5,17 bcd	4,93 bc	5,16 y
3,0	4,62 ab	5,43 de	4,62 ab	4,67 ab	4,84 xy
Rata-rata	4,64 p	5,48 q	4,83 p	4,74 p	

Sumber: Masganti *et al.* (2017).

Pemupukan P di lahan sulfat masam, selain berfungsi untuk meningkatkan ketersediaan P untuk tanaman, juga berfungsi untuk menurunkan Al-dd dan Fe-dd sehingga dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian Nguyen *et al.* (2017), status hara P di tanah pada saat sebelum tanam tergolong cukup, sementara pada saat setelah tanam, pada plot yang dipupuk lebih dari 40 kg.ha⁻¹ P₂O₅, Al dan Fe dalam tanah menurun. Selanjutnya, Nguyen *et al.* (2017), menyimpulkan bahwa pemberian pupuk P dapat menurunkan toksisitas Al dan Fe melalui mekanisme presipitasi, pembentukan senyawa Al-P dan Fe-P.

IV. POTENSI MIKROBA PELARUT FOSFAT DI LAHAN SULFAT MASAM

4.1. Penyebaran Mikroba Pelarut P di Lahan Sulfat Masam

Mikroba pelarut P dapat dijumpai pada setiap ekologi. Pertama kali mikroba pelarut P terutama bakteri diisolasi menggunakan medium Pikovskaya. Medium Pikovskaya mengandung sumber P tidak larut, yaitu trikalsium fosfat (Ca₃(PO₄)₂). Dengan adanya trikalsium fosfat maka medium Pikovskaya, menjadi berwarna keruh. Ketika ditumbuhkan bakteri pelarut P, maka di sekitar koloni akan terbentuk zona jernih di sekitarnya yang menunjukkan bahwa trikalsium fosfat tersebut telah berubah menjadi

akar yang dilepaskan ke dalam tanah, baik jenis maupun jumlahnya tidak sama sehingga memengaruhi kepadatan populasi bakteri (Lestari dan Mukhlis 2008).

4.2. Peranan Mikroba Pelarut P di Lahan Sulfat Masam

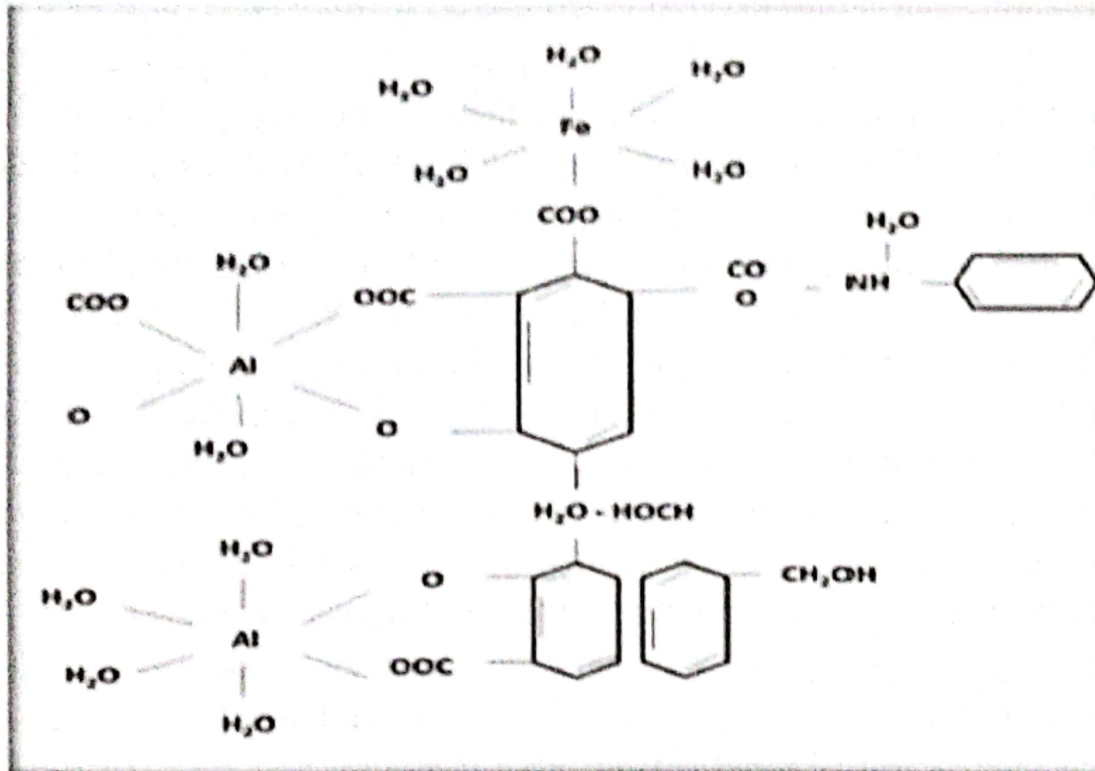
Mikroorganisme tanah memainkan peranan kunci terhadap dinamika P tanah. Inokulasi bakteri pelarut fosfat dapat meningkatkan ketersediaan P di tanah sulfat masam yang berasal dari Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. P-tersedia tanah sulfat masam steril yang diinokulasi bakteri pelarut fosfat dan jamur pelarut fosfat masing-masing meningkat 14,59 ppm dan 15,44 ppm, sedangkan pada tanah tidak steril masing-masing meningkat 7,26 ppm dan 8,25 ppm (Dewi *et al.* 2017).

Inokulasi bakteri pelarut meningkatkan pH tanah sulfat masam yang berasal dari Pulang Pisau, Kalimantan Tengah. pH tanah sulfat masam steril yang diinokulasi bakteri pelarut fosfat dan jamur pelarut fosfat masing-masing meningkat 0,75 unit dan 0,66 unit, sedangkan pada tanah tidak steril masing-masing meningkat 0,22 unit dan 0,14 unit (Dewi *et al.* 2017).

Sejumlah bakteri pelarut fosfat ada yang tergolong *Bacillus* dan mampu bersifat antagonis terhadap penyakit yang disebabkan oleh *R. solani* (*sheath blight*). Jamur *R. solani* yang ditumbuhkan pada medium PDA bersama bakteri pelarut fosfat pertumbuhan miselinya terhambat (Panwar *et al.* 2012).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri pelarut P dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, bukan hanya karena kemampuannya mengubah P tidak larut menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman, tetapi juga karena kemampuannya memproduksi zat pengatur tumbuh (Dewanti *et al.* 2016; Panhwar *et al.* 2014). Dari 21 isolat bakteri pelarut P yang diuji diperoleh isolat yang mampu menghasilkan IAA dengan konsentrasi yang tinggi dibandingkan isolat yang lain. PSB 21 dan PSB 7 masing-masing menghasilkan IAA sebesar 14,96 mg.L⁻¹ dan 13,16 mg.L⁻¹. Selanjutnya, hasil penelitian Panhwar *et al.* (2015), menunjukkan bahwa volume akar bibit padi yang diinokulasi bakteri pelarut fosfat penghasil IAA lebih tinggi dibandingkan kontrol. Meningkatnya perkembangan akar menyebabkan penyerapan hara menjadi lebih baik sehingga tinggi tanaman dan bobot kering tanaman meningkat.

Hasil penelitian Panhwar *et al.* (2015), menunjukkan bahwa bakteri pelarut fosfat dari genus *Bacillus*, *Stenotrophomonas*, dan *Burkholderia* mempunyai kemampuan menurunkan pengaruh toksisitas Al dan Fe. Mekanisme utama yang terlibat adalah proses kelatisasi Al dan Fe oleh asam organik.



Sumber: Panhwar *et al.* 2016

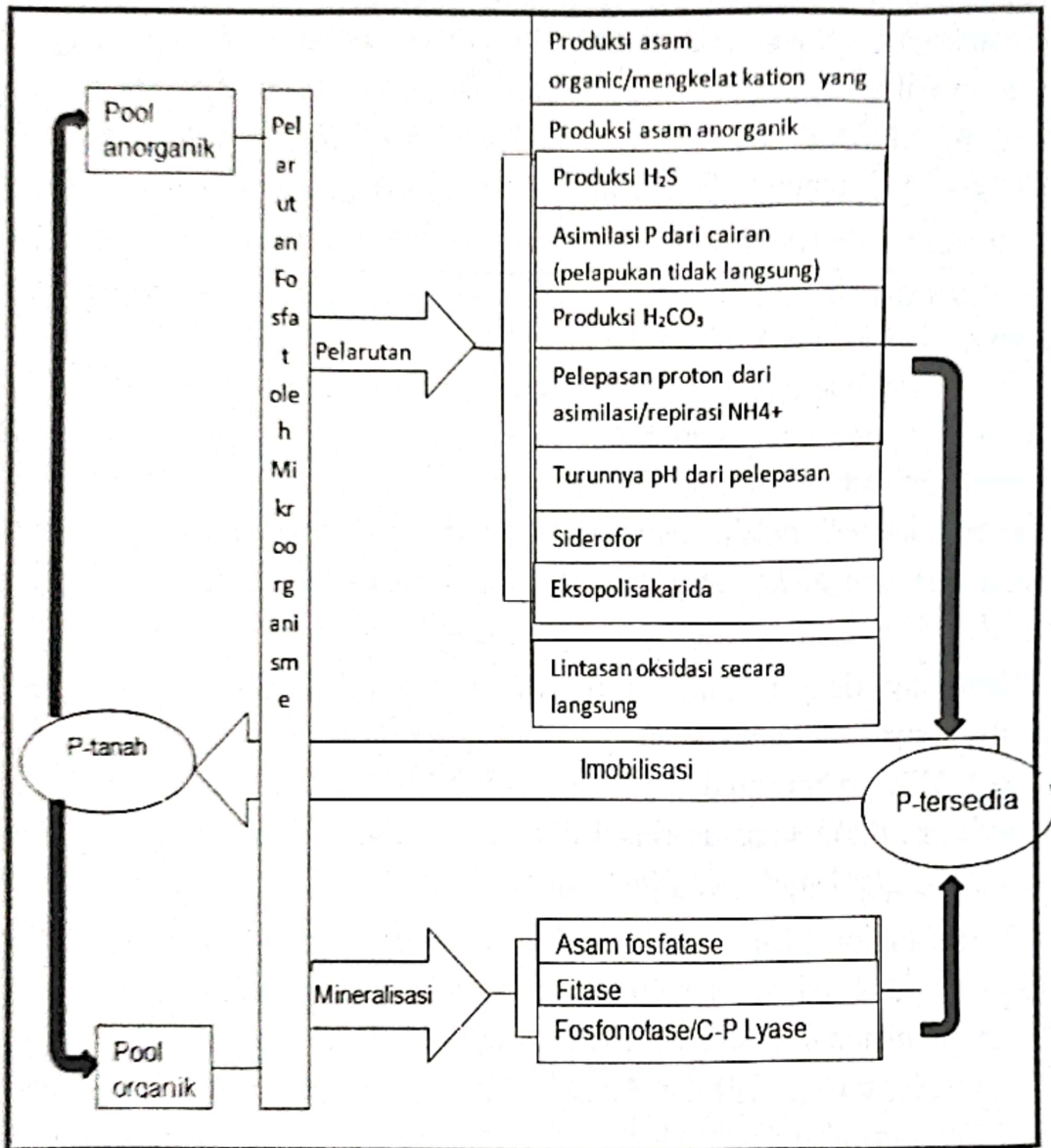
Gambar 22. Mekanisme pengkhelatan al dan fe oleh asam organik di dalam tanah

Selanjutnya, Shamshuddin *et al.* (2017), mengemukakan bahwa bakteri pelarut fosfat juga dapat meningkatkan pH tanah sampai level yang menyebabkan Al terpresipitasi sebagai Al-hidroksida yang inert. Hal ini disebabkan, karena kemampuannya memproduksi polisakarida yang mungkin mengabsorpsi H⁺ pada larutan sehingga pH meningkat (Panhwar *et al.* 2015).

V. MEKANISME PELARUTAN P OLEH MIKROBA PELARUT P

Pada prinsipnya mikroba pelarut P melarutkan P tidak larut menjadi bentuk yang bisa diserap oleh tanaman. Menurut Kumar (2016), bahwa bakteri pelarut fosfat menggunakan mekanisme yang berbeda untuk melarutkan P berdasarkan jenis dari sumber P tidak larut. Sumber P tidak larut yang ada di dalam tanah adalah P-organik dan anorganik. Perubahan P-anorganik tidak larut menjadi tersedia bagi tanaman disebut pelarutan

sulfur anorganik juga terlibat dalam pelarutan P. Asam nitrat dan asam sulfat ini bereaksi dengan kalsium fosfat dan mengubahnya menjadi bentuk terlarut.

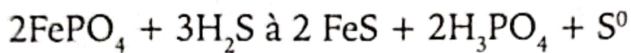


Sumber: Sharma et al. (2013).

Gambar 23. Skema Mekanisme Mineralisasi dan Immobilisasi P Oleh Mikroba Pelarut P.

Pada beberapa bakteri, oksidasi langsung glukosa menjadi asam glukonat atau asam 2-ketoglukonat melalui lintasan Embden-Meyer hof, Entner Doudoroff atau pentose fosfat, menghasilkan kemasaman di sekitar sel atau koloni. Kemudian proton ini melarutkan kalsium fosfat yang ada dalam medium dan mekanisme pelarutan fosfat ini disebut oksidasi ekstraseluler melalui lintasan oksidasi langsung (Goldstein 1996).

Menurut Sindu *et al.* (2014), bahwa bakteri tertentu seperti *Desulphovibrio* dan *Desulfatomaculum* mungkin juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan P pada kondisi anaerob. Mikroorganisme fermentatif ini menghasilkan H₂S dari reduksi sulfat. Selanjutnya, H₂S yang dihasilkan bereaksi dengan besi fosfat dan terpresipitasi sebagai besi sulfide serta melepaskan fosfat. Reaksi mobilisasi fosfat menurut Erlich and Newman, 2009 adalah sebagai berikut.



Asam karbonat (H₂CO₃) hasil respirasi tanaman dan organisme tanah serta CO₂ hasil dekomposisi bahan organik mempunyai peranan penting dalam meningkatkan ketersediaan fosfat yang bisa diserap oleh tanaman. Reaksi antara H₂CO₃ dan CO₂ dengan Ca₃(PO₄)₂ membentuk CaHPO₄ dan Ca(H₂PO₄)₂ dan CaCO₃ (Sindu *et al.* 2014).

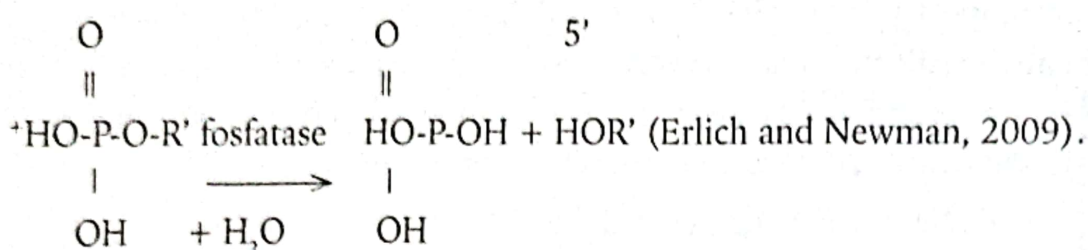
Sharma *et al.* (2013) mengemukakan bahwa asimilasi NH₄⁺ dalam sel mikroba disertai dengan pelepasan proton. Selanjutnya, proton yang dilepaskan akan melarutkan P-tidak larut.

Beberapa mikroba seperti bakteri dan fungi mempunyai strategi untuk melepaskan besi dengan cara mensekresikan siderofor. Siderofor adalah senyawa berberat molekul rendah yang mempunyai afinitas tinggi dalam mengkelat besi. Siderofor merupakan agen yang dapat melarutkan Fe (besi) dari mineral atau senyawa. Senyawa ini akan menarik besi dari fase mineral melalui pembentukan kompleks Fe³⁺ yang larut.

Pelarutan fosfat organik disebut juga mineralisasi fosfor organik. Berdasarkan rangkaian unsur penyusunnya, P-organik dibedakan menjadi 3, yaitu ester-fosfat, polifosfat, dan fosfonat (Suliasih dan Rahmansyah, 2009). Ester-fosfat merupakan P-organik yang paling banyak di tanah. Mineralisasi senyawa P-organik ini dilakukan oleh 3 kelompok enzim tanah, yaitu fosfatase (fosfohidrolase), fitase serta fosfonatase, dan C-P liase. Proses mineralisasi P organik oleh mikroba pelarut P terjadi secara enzimatik oleh asam fosfatase, fitase dan fosfonotase C-P lyase (memecah C-P pada organofosfonat). Berkaitan dengan, substrat yang ada di tanah, maka enzim utama yang berperan dalam mineralisasi P-organik adalah fosfatase dan fitase.

Menurut Condon *et al.* (2005), bahwa enzim fosfatase (fosfomonoesterase) adalah kelompok enzim non spesifik yang menghidrolisis ester dan anhidrat dari asam fosfat. Enzim ini di tanah

dijumpai sebagai enzim ekstraseluler. Reaksi hidrolisis senyawa fosfat organik yang dikatalisis oleh fosfatase adalah sebagai berikut.



P-organik di dalam tanah dalam bentuk inositol fosfat (fitat tanah) yang terutama berasal dari biji tanaman dan polen dimineralisasi secara biologi oleh enzim fitase. Enzim ini melepaskan P dari asam fitat.

VI. PEMANFAATAN MIKROBA PELARUT P DI LAHAN SULFAT MASAM

Menurut Grant *et al.* (2005), bahwa tanaman memerlukan P yang cukup dari awal tahap pertumbuhannya untuk menghasilkan produksi yang optimum. Pasokan fosfor untuk tanaman dipengaruhi oleh P tanah, pengelolaan pupuk P, serta kondisi tanah dan lingkungan memengaruhi ketersediaan P dan pertumbuhan akar. Selanjutnya, Malhi *et al.* (2002), mengemukakan bahwa efisiensi penggunaan pupuk P oleh tanaman adalah 10-30%. Sisanya 70-90%, menjadi pool P tanah yang akan digunakan oleh tanaman bulan dan tahun berikutnya. Rendahnya efisiensi aplikasi pupuk P terutama disebabkan oleh retensi P pada fraksi liat tanah, Fe dan Al hidroksida. Dosis, waktu aplikasi dan bentuk P juga memengaruhi efisiensi pemupukan P (Baligar dan Bennet 1986). Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P adalah memanfaatkan mikroba pelarut P.

Menurut Negi *et al.* (2008), bahwa beberapa faktor yang memengaruhi efektivitas aplikasi mikroba pelarut P pada skala luas adalah: (i) adanya mikroba pelarut P indigenous, sehingga efek inokulasi strain introduksi tidak nyata, (ii) kemampuan berkompetisi antara strain introduksi dengan indigenous, (iii) kemampuan strain introduksi beradaptasi terhadap faktor lingkungan.

Penelitian Panhwar *et al.* (2014) di rumah kaca yang menggunakan tanah sulfat masam dari Semarak, Kelantan Malaysia, menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati berbasis bakteri pelarut fosfat baik secara tunggal

maupun dikombinasi dengan dolomit atau basalt dapat meningkatkan kadar N, P, dan K dalam jerami dan gabah (Tabel 19). Peningkatan serapan N, P, dan K tanaman padi akibat pemberian pupuk hayati karena pupuk hayati yang diaplikasikan merupakan konsorsium antara bakteri pelarut P dan penambat N sehingga meningkatkan ketersediaan P dan kadar N pada tanaman padi. Selain itu, mikroba yang terkandung pada pupuk hayati yang diaplikasikan juga memproduksi fitohormon pemacu tumbuh IAA yang secara langsung memengaruhi pertumbuhan akar. Pertumbuhan akar yang semakin baik akan meningkatkan serapan hara lain, seperti P dan K. Hasil penelitian Panhwar *et al.* (2016), menunjukkan bahwa PSB juga mampu melepaskan asam organik sehingga Al^{3+} dan Fe^{2+} yang ada di dalam air terfiksasi dan menjadi tidak aktif. Oleh karena itu, aplikasi pupuk hayati mikroba pelarut P mempunyai potensi meningkatkan produksi padi di tanah sulfat masam.

Tabel 19. Pengaruh pemberian pupuk hayati, dolomit dan basalt terhadap kadar n, p, dan k jerami padi dan gabah

Perlakuan	N		P		K	
	jerami	gabah	jerami	Gabah	jerami	gabah
	-----g.tanaman ⁻¹ -----					
Kontrol	4,7 c	9,4 c	1,1 e	1,5 e	13,2 c	2,3 c
Pupuk hayati	6,9 a	10,1 a	1,6 a	3,0 b	14,8 b	2,8 b
Dolomit	6,7 b	9,8 b	1,4 c	2,8 c	14,7 b	2,5 b
Basalt	6,5 b	9,7 b	1,3 d	2,5 d	14,4 b	2,7 b
Pupuk hayati + dolomit	7,1 a	10,5 a	1,6 a	3,3 a	15,5 a	3,1 a
Pupuk hayati + basalt	6,8 ab	10,2 a	1,5 b	3,2 a	15,3 a	3,0 a

Sumber: Panhwar *et al.* (2014).

Hasil penelitian Syahputra *et al.* (2018), menunjukkan bahwa pemberian bakteri pelarut fosfat dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi varietas Ciherang di tanah sulfat masam Mopoli Raya, Kabupaten Aceh Tamiang. Bobot kering jerami per pot, jumlah malai per pot dan hasil gabah per pot padi varietas Ciherang yang diinokulasi bakteri pelarut fosfat lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak diinokulasi (Tabel 21). Hasil yang sama juga diperoleh dari penelitian Panhwar *et al.* (2014), yaitu aplikasi pupuk hayati baik tunggal maupun dikombinasikan dengan dolomit atau basalt dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Hal ini karena

pemberian pupuk hayati baik tunggal maupun dikombinasikan dengan dolomit atau basalt dapat meningkatkan kesuburan tanah sehingga biomasa dan hasil padi meningkat.

Tabel 20. Pengaruh inokulasi bakteri pelarut fosfat terhadap pertumbuhan dan hasil padi ciherang di tanah sulfat masam

Perlakuan	Bobot kering jerami per pot(g)	Jumlah malai per pot	Bobot gabah per pot(g)
Tanpa bakteri pelarut fosfat	3,94	2,25	0,54
Pemberian bakteri pelarut fosfat	8,75	5,75	1,95

Sumber: Diolah dari Syahputra *et al.* (2018).

VII. PENUTUP

Tanaman padi di tanah sulfat masam sering kali mengalami keracunan Al^{3+} , Fe^{2+} , H^+ dan kekurangan unsur P. Efisiensi pemupukan P di tanah sulfat masam tergolong rendah, karena terpresipitasi sebagai Al-P maupun Fe-P. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan pemberian bakteri pelarut P.

Pemberian bakteri pelarut P pada tanah sulfat masam dapat meningkatkan serapan hara N, P, K, pertumbuhan dan hasil padi. Oleh karena itu, pupuk hayati berbasis MPF mempunyai prospek yang baik untuk meningkatkan kesuburan tanah, produksi dan sistem pertanian berkelanjutan. Teknologi MPF juga berkontribusi pada sistem pertanian *low-input* dan tidak mencemari lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ar-Riza, I., M. Alwi dan Nurita. 2015. Peningkatan Hasil Padi di Tanah Sulfat Masam melalui Kombinasi Perlakuan Lindi dan Olah Tanah. *J. Agron. Indonesia*. 45(2):105-110.
- Baligar, V.C. and O. L. Bennet. 1986. NPK-fertilizer efficiency-a situation analysis for the tropics. 10(2):142-164 (Abstract).
- Batubara, I. S., Fauzi, K. S. Lubis. 2014. Pengaruh Pemberian Fosfat Alam dan Bahan Organik Terhadap Sifat Kimia Tanah, Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa* L.) Pada Tanah Sulfat Masam Potensial. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(3): 125-129.

- Behera, B.C., H. Yadev, S.K. Singh, R.R. Mishra, B.K. Sethi, S.K. Dutta and H.N.Thatoi. 2017. Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India. 15(Issue 1):169-178.
- Dewanti, A. W. E. Pratiwi, Y. Nuraini. 2016. Viabilitas Dan Aktivitas Enzim Fosfatase Serta Produksi Asam Organik Bakteri Pelarut Fosfat Pada Beberapa Suhu Simpan. *Jurnal Tanah dan Sumber Daya Lahan*. 3(1):311-318.
- Dewi, R. P., Basuki, and L. Widiatuti. 2017. Uji Potensi Bakteri dan Jamur Pelarut Fosfat Dalam Meningkatkan Jumlah P-Tersedia pada Tanah sulfat masam. *Jurnal AGRI PEAT*. 18(1):27-35.
- Dierorr, T., T. H. Fairhurst and E. W. Mulert. 2000. Soil Fertility Kit: A toolkit for acid upland soil fertility management in Southeast. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Food and Agriculture Organisation; PT Katom and Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC).
- Elfiati, D. 2005. Peranan mikroba pelarut fosfat terhadap pertumbuhan tanaman. E-USU Repository. Universitas Sumatera Utara. 1-10.
- Fankem, H., L. Ngo Kot, A. Deubel, J. Quinn, W. Merbach, F. X. Etoa, D. Nwaga. 2008. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated from acidic soils of Cameroon. *African Journal of Microbiology Research*. 2:171-178.
- Goldstein, A.H. 1995. Recent Progress in Understanding the Molecular Genetics and biochemistry of calcium phosphate solubilization by gram negative bacteria. *Biological Agriculture & Horticulture*. 12 (Issue 2). (Abstract).
- Grant, C., S. Bittman, M. Montreal, C. Plenchette and C. Morel. 2005. Soil and fertilizer phosphorus: effect on plant P, supply and mycorrhizal development. *Can. J. Plant Sci*. 85:3-14.
- Indrayati, L dan S, Umar. 2011. Pengaruh Pemupukan N, P, K dan Bahan Organik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai di Lahan Sulfat Masam Bergambut. *Agrista*. 15(3):94-101.
- Khan, A. A., G. Jilani, M. S.Akhtar, S. M. S. Naqvi., and M. Rasheed. 2009. *J. Agric. Biol. Sci*. 1(1):48-58.

- Khan, M. S., A. Zaidi, M. Ahemad, M. Oves, P. A. Wani. 2010. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi-current perspective. *Arch Agron Soil Sci.* 56:73-98.
- Lestari, Y., dan Mukhlis. 2008. Populasi Bakteri Pelarut Fosfat di Tanah Sulat Masam Potensial. Proseding Seminar Nasional pengembangan Lahan rawa, Banjarbaru, 5 Agustus 2008. 294-299.
- Lestari, Y., Mukhlis dan S. Nurzakiah. 2010. Pelarutan Trikalsium Fosfat dan Aluminium Fosfat yang Diisolasi dari Rhizosfer Padi. Proseding Seminar Nasional Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (PERMI) Indonesian Society for Microbiology Cabang Kalimantan Selatan. Bnjarbaru, 27 September 2010. 37-43.
- Malhi, S. S., L. K. Hader Lein, D. G. Pauly and A. M. Johnston. 2001. *Better Crops.* 86(4):8-9.
- Masganti dan N. Fauziati. 1995. Liming and pphosphate fertilizer on rice in tidal swampland. *AGRIS.* (Abstrak).
- Masganti, Nurhayati, N. Yulianti. 2017. Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Pasang Surut dengan Pupuk P dan Kompos Jerami Padi. *Jurnal Tanah dan Iklim.* 41(1):17-24.
- Mukhlis. 2012. Efektivitas Pupuk hayati Biotara Mengurangi Penggunaan Pupuk Anorganik dan Meningkatkan Produktivitas Padi di Lahan Rawa Pasang Surut. *Agroscentia.* 19 (3): 170-177.
- Mulyani, A., A. Rachman & A. Dairah. 2012. Penyebaran Lahan Masam: Potensi dan Ketersediaannya untuk Pengembangan Pertanian. balittanah.litbang.deptan.go.id/do_kumentasi/buku/fofataalam/anny_mulyani.pdf. Diakses 12 Desember 2012.
- Negi, Y. K., S. K. Gorg and J. Kumar. 2008. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol activities of rhizobacteria. d D. K. Maheshwari and R. C. Dubay (editor). *Potential Microorganisms for sustainable Agriculture. A Technic-commercial perspective.* I.K. International Publishing Home Pyt. Ltd. New Delhi.
- Nguyen, D. N., T. T. Nguyen, Q. N. Tran and M. Macdonald. 2017. Soil and Rice Responses to Fertilizer in Two Contrasting seasons on Acid sulfate Soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis.* Volume 48. Issues 6. (Abstract).

- Panwar, Q. A., U.A. Naher., O. Radziah, J. Shamshuddin and I. M. Razi. 2014. Bio-fertilizer, ground magnesium limestone and basalt application may improve chemical properties of Malaysian acid sulfate soils and rice growth. *Pedosphere*. 24(6):827-835.
- Panwar, Q.A., U.A. Naher., O. Radziah, J. Shamshuddin and I. M. Razi. 2015. Eliminating Aluminium Toxicity in an Acid Sulfate Soil for Rice Cultivation Using Plant Growth Promoting Bacteria. *Molecules*. 20(3):3628-3646.
- Prijambada, I. D., J. Widada, S. Kabirun dan D. Widiyanto. 2009. Secretion of organic acids by phosphate solubilizing bacteria isolated from oxisols. *J. Tanah Trop*. 14(3):245-251.
- Rachmiati, Y. 1995. Bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman dan kemampuannya dalam melarutkan fosfat. *Prosiding Kongres Nasional VI HITI, Jakarta, 12-15 Desember 1995*.
- Santosa, E. 2007. Mikroba pelarut fosfat In Saraswati, R, E. Santosa dan R. D. M. Simanungkalit (editor). *Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Sharma, S. B., R. Z. Sayyed, M. H. Trivedi and T. A. Gobi. 2006. Phosphate solubilizing microbe sustainable approach for managing phosphorous efficiency in agricultural soils. *Springer Plus*: 2:587 (14 halaman).
- Sindu, S.S., M. Phove, S.R. Choudhary and D. Choudhary. 2014. Phosphorous Cycling: Prospect of using rhizosphere microorganisms for improving phosphorous nutrition of plants. In N. Parmar and A. Singh (editor). *Geomicrobiology and Biogeochemistry*. Springer Heidelberg. New York.
- Suliasih dan N. Rahmansyah. 2009. Aktivitas fosfatase tanah di lingkungan bentang hutan alami dan non-alami. *Berita Biologi*. 9(6):783-792.
- Supriyo, A., R. Dirgahayuningsih dan S. Minarsih. *Kajian Bahan Humat Untuk Meningkatkan Efisiensi pemupukan NPK pada Bibit Kelapa Sawit di Tanah Sulfat Masam*. 2013. *Agritech*. XV(2):14-24.
- Zaidi, A., M. S. Khan, M. Ahemad and M. Oves. 2009. Plant Growth Promotion by Phosphate Solubilizing Bacteria. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungaria*. 56(3):263-284.